

1  
明 細 書

光増幅装置

## 5 技術分野

本発明は、光の増幅に関する。

## 背景技術

10 従来より、入射光の波長帯域が、 $1.55\mu\text{m}$ 帯 ( $1.53\mu\text{m} \sim 1.56\mu\text{m}$ : Cバンド) および  $1.58\mu\text{m}$ 帯 ( $1.57\mu\text{m} \sim 1.61\mu\text{m}$ : Lバンド) のいずれであっても、入射光を増幅できる広帯域光増幅器が知られている（例えば、特許文献1（特開2001-358389号公報（要約））を参照）。

15 このような広帯域光増幅器は、入射光の波長帯域がCバンドの場合は、入射光を第一 Er(Erbium: エルビウム)添加光ファイバに通して増幅させる。入射光の波長帯域がLバンドの場合は、入射光を第一 Er 添加光ファイバに通し、さらに第二 Er 添加光ファイバに通して増幅させる。増幅された光は、増幅光として、広帯域光増幅器から出力される。

20 ここで、増幅光のノイズを低減するために、第一 Er 添加光ファイバの前段に、さらに低ノイズ増幅用 Er 添加光ファイバを設けることが考えられる。低ノイズ増幅用 Er 添加光ファイバのゲインを大きくすると、第一 Er 添加光ファイバによるノイズの影響を減らすことが

できる。

しかしながら、第一 Er 添加光ファイバの出力する C バンドの増幅光のノイズを減らすように、第一 Er 添加光ファイバおよび低ノイズ增幅用 Er 添加光ファイバの長さを決定すると、第一 Er 添加光ファイバの出力のゲインが小さくなる。よって、第二 Er 添加光ファイバによるノイズの影響が大きくなるため、L バンドの増幅光のノイズを減らすことができない。

一方、L バンドの増幅光のノイズを減らすために、第一 Er 添加光ファイバおよび低ノイズ增幅用 Er 添加光ファイバの長さを長くすれば、C バンドの増幅光のノイズを減らすことができない。

このように、C バンドの増幅光および L バンドの増幅光の双方のノイズを低減化することは困難である。

そこで、本発明は、異なる波長帯域に対応できる光増幅器であって、いずれの波長帯域においてもノイズを低減した増幅光を出力できる光増幅器を提供することを課題とする。

20

### 発明の開示

本発明による光増幅装置の一態様によれば、入射光を増幅する第一前置光ファイバ増幅器と、第一前置光ファイバ増幅器に与える第一励起光を生成する第一前置励起光源と、第一励起光を第一前置光ファイバ増幅器に導入する第一前置励起光導入手段と、第一前置光ファイバ

增幅器の出射光を増幅する第一後置光ファイバ增幅器と、第二前置光ファイバ增幅器と、第二前置光ファイバ增幅器に与える第二励起光を生成する第二前置励起光源と、第二励起光を、第二前置光ファイバ增幅器に、入射側とは反対側である出射側から導入する第二前置励起光導入手段と、第二前置光ファイバ增幅器の出射光を増幅する第二後置光ファイバ增幅器と、第一後置光ファイバ增幅器に与える第三励起光を生成する後置励起光源と、第三励起光を第一後置光ファイバ增幅器に導入する後置励起光導入手段と、(1)第一後置光ファイバ增幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続する、あるいは(2)第一後置光ファイバ增幅器の出射側と第二前置光ファイバ增幅器の入射側とを接続して、第一後置光ファイバ增幅器の出射光を第二前置光ファイバ增幅器によって増幅させる、光接続手段とを備えるように構成される。

上記のように構成された発明によれば、第一前置光ファイバ增幅器は、入射光を増幅する。第一前置励起光源は、第一前置光ファイバ增幅器に与える第一励起光を生成する。第一前置励起光導入手段は、第一励起光を第一前置光ファイバ增幅器に導入する。第一後置光ファイバ增幅器は、第一前置光ファイバ增幅器の出射光を増幅する。第二前置励起光源は、第二前置光ファイバ增幅器に与える第二励起光を生成する。第二前置励起光導入手段は、第二励起光を、第二前置光ファイバ增幅器に、入射側とは反対側である出射側から導入する。第二後置光ファイバ增幅器は、第二前置光ファイバ增幅器の出射光を増幅する。後置励起光源は、第一後置光ファイバ增幅器に与える第三励起光を生成する。後置励起光導入手段は、第三励起光を第一後置光ファイバ增幅器に導入する。光接続手段は、(1)第一後置光ファイバ增幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続する、あるいは(2)第一後置光

ファイバ増幅器の出射側と第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続して、第一後置光ファイバ増幅器の出射光を第二前置光ファイバ増幅器によって増幅させる。

5 上記本発明による光増幅装置によれば、第一後置光ファイバ増幅器から第一前置光ファイバ増幅器への光を遮断する光遮断手段を備えることが好ましい。

上記本発明による光増幅装置によれば、光接続手段は、第一後置光  
10 ファイバ増幅器の出射側と第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続すると共に、第二後置光ファイバ増幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続するように構成することが好ましい。

上記本発明による光増幅装置によれば、光接続手段が第一後置光  
15 ファイバ増幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続する場合に、第一前置光ファイバ増幅器のゲインが、第一後置光ファイバ増幅器におけるノイズを無視できる程度に大きいように構成することが好ましい。

上記本発明による光増幅装置によれば、光接続手段が第一後置光  
20 ファイバ増幅器の出射側と第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続する場合に、第一前置光ファイバ増幅器のゲイン、第一後置光ファイバ増幅器のゲインおよび第二前置光ファイバ増幅器のゲインを合成した合成ゲインは、第二後置光ファイバ増幅器の出射光のノイズをほぼ保つことができる程度のものであるように構成することが好ましい。

アイバ増幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続する場合に、第一後置光ファイバ増幅器の出射光の波長帯域がCバンドであるように構成することが好ましい。

- 5 上記本発明による光増幅装置によれば、光接続手段が第一後置光ファイバ増幅器の出射側と第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続する場合に、第二後置光ファイバ増幅器の出射光の波長帯域がLバンドであるように構成することが好ましい。
- 10 上記本発明による光増幅装置によれば、第一前置光ファイバ増幅器、第一後置光ファイバ増幅器、第二前置光ファイバ増幅器および第二後置光ファイバ増幅器のいずれか一つ以上が、エルビウム添加光ファイバであるように構成することが好ましい。
- 15 上記本発明による光増幅装置によれば、第一前置励起光源、第二前置励起光源および後置励起光源の生成する光の波長が 980nm であるように構成することが好ましい。

- 20 上記本発明による光増幅装置によれば、第二前置光ファイバ増幅器の出射光を増幅して第二後置光ファイバ増幅器に出射する第三前置光ファイバ増幅器と、第三前置光ファイバ増幅器に与える第四励起光を生成する第三前置励起光源と、第四励起光を、第三前置光ファイバ増幅器に、入射側とは反対側である出射側から導入する第三前置励起光導入手段とを備えるように構成することが好ましい。

一光ファイバ増幅器と、第二光ファイバ増幅器と、第一光ファイバ増幅器に与える励起光を生成する後置励起光源と、励起光を第一光ファイバ増幅器に導入する後置励起光導入手段と、(1)第一光ファイバ増幅器の出射側と後置励起光導入手段とを接続する、あるいは(2)第一光ファイバ増幅器の出射側と第二光ファイバ増幅器の入射側とを接続して、第一光ファイバ増幅器の出射光を第二光ファイバ増幅器によって増幅させる、光接続手段とを備えるように構成される。

上記のように構成された発明によれば、第一光ファイバ増幅器は、  
10 入射光を増幅する。後置励起光源は、第一光ファイバ増幅器に与える  
励起光を生成する。後置励起光導入手段は、励起光を第一光ファイバ  
増幅器に導入する。光接続手段は、(1)第一光ファイバ増幅器の出射  
側と後置励起光導入手段とを接続する、あるいは(2)第一光ファイ  
バ増幅器の出射側と第二光ファイバ増幅器の入射側とを接続して、第  
15 一光ファイバ増幅器の出射光を第二光ファイバ増幅器によって増幅さ  
せる。

#### 図面の簡単な説明

20 図1は、本発明の実施形態にかかる光増幅装置1の構成を示す図で  
ある。

図2は、本発明の実施形態にかかる光増幅装置1の変形例の構成を  
示す図である。

25 図3は、実施例および比較例における波長とゲインとの関係、およ  
び波長とノイズ指数との関係を示す図である。

図4は、比較例（第二前置光ファイバ増幅器22が無いもの）の構

成を示す図である。

図5は、図1に示す光増幅装置1の構成要素を一部省略した例を示す図である。

5

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる光増幅装置1の構成を示す図である。光増幅装置1は、入射した光を増幅して出射する。

光増幅装置1は、第一前置光ファイバ増幅器12、第一前置励起光源14、第一WDMカプラ（第一前置励起光導入手段）16、第一後置光ファイバ増幅器18、第二前置光ファイバ増幅器22、第二前置励起光源24、第二WDMカプラ（第二前置励起光導入手段）26、第二後置光ファイバ増幅器28、後置励起光源34、後置WDMカプラ（後置励起光導入手段）36、光アイソレータ42、44、46、光スイッチ（光接続手段）50を備える。

20 光増幅装置1に入射する入射光は、光アイソレータ42を通過して、第一前置光ファイバ増幅器12に入射する。光アイソレータ42は、第一前置光ファイバ増幅器12の前段に置かれ、第一前置光ファイバ増幅器12に入射する方向に光を通すが、第一前置光ファイバ増幅器12から出射する方向には光を通さない。

25

第一前置光ファイバ増幅器12は、光アイソレータ42を通過した

入射光を増幅して出射する。第一前置光ファイバ増幅器12は、例えば、Er(Erbium：エルビウム)添加光ファイバである。

- 第一前置励起光源14は、第一前置光ファイバ増幅器12に与える  
5 第一励起光を生成する。

第一WDMカプラ（第一前置励起光導入手段）16は、第一前置励起光源14から第一励起光を受けて、第一前置光ファイバ増幅器12に与える。第一WDMカプラ16は、第一前置光ファイバ増幅器12の出射側（入射光を受ける側とは反対側）に接続されている。なお、第一前置光ファイバ増幅器12の出射光は、第一WDMカプラ16を通過する。

第一前置光ファイバ増幅器12の出射光は、光アイソレータ（光遮断手段）44を通過して、第一後置光ファイバ増幅器18に入射する。  
15 光アイソレータ（光遮断手段）44は、第一後置光ファイバ増幅器18の前段に置かれ、第一前置光ファイバ増幅器12から第一後置光ファイバ増幅器18に向けては光を通すが、第一後置光ファイバ増幅器18から第一前置光ファイバ増幅器12に向けては光を通さない。光  
20 アイソレータ（光遮断手段）44により、第一後置光ファイバ増幅器18から第一前置光ファイバ増幅器12に向けて入射する自然放出光が遮断され、第一前置光ファイバ増幅器12における不必要的信号—ASEビートノイズおよびASE—ASE間ビートノイズを低減し、効率的で低ノイズな信号増幅を実現できる。なお、信号とは光増幅装置1に入射する入射光のことをいう。

第一後置光ファイバ増幅器 18 は、光アイソレータ 44 を通過した光を増幅して出射する。第一後置光ファイバ増幅器 18 は、例えば、  
Er(Erbium : エルビウム)添加光ファイバである。ただし、第一後置光  
ファイバ増幅器 18 の励起光は、後置励起光源 34 (端子 51 と端子  
5 52 とが接続されている場合) あるいは第二前置励起光源 24 (端子  
5 1 と端子 54 とが接続されている場合) からもたらされる。

第二前置光ファイバ増幅器 22 は、端子 51 と端子 54 とが接続さ  
れている場合に、第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射光を増幅して  
10 出射する。第二前置光ファイバ増幅器 22 は、例えば、Er(Erbium :  
エルビウム)添加光ファイバである。

第二前置励起光源 24 は、第二前置光ファイバ増幅器 22 に与える  
第二励起光を生成する。

15

第二 WDM カプラ (第二前置励起光導入手段) 26 は、第二前置励  
起光源 24 から第二励起光を受けて、第二前置光ファイバ増幅器 22  
に与える。第二 WDM カプラ 26 は、第二前置光ファイバ増幅器 22  
の出射側 (端子 54 に接続されている入射側とは反対側) に接続され  
20 ている。なお、第二前置光ファイバ増幅器 22 の出射光は、第二 WDM  
カプラ 26 を通過する。

第二後置光ファイバ増幅器 28 は、第二前置光ファイバ増幅器 22  
の出射光を増幅して出射する。第二後置光ファイバ増幅器 28 は、例  
25 えば、Er(Erbium : エルビウム)添加光ファイバである。ただし、第二  
後置光ファイバ増幅器 28 の励起光は、後置励起光源 34 (端子 52

と端子 5 3 とが接続されている場合) からもたらされる。

後置励起光源 3 4 は、第一後置光ファイバ増幅器 1 8 に与える第三  
15 励起光 (端子 5 1 と端子 5 2 とが接続されている場合) あるいは第二  
後置光ファイバ増幅器 2 8 に与える励起光 (端子 5 2 と端子 5 3 とが  
接続されている場合) を生成する。

後置 WDM カプラ (後置励起光導入手段) 3 6 は、後置励起光源 3  
4 から第三励起光を受けて、第一後置光ファイバ増幅器 1 8 に与える  
10 (端子 5 1 と端子 5 2 とが接続されている場合)。あるいは、後置励起  
光源 3 4 から励起光を受けて、第二後置光ファイバ増幅器 2 8 に与え  
る (端子 5 2 と端子 5 3 とが接続されている場合)。なお、第一後置光  
ファイバ増幅器 1 8 の出射光および第二後置光ファイバ増幅器 2 8 の  
出射光は、後置 WDM カプラ 3 6 を通過する。

15

後置 WDM カプラ 3 6 を通過した光は、光アイソレータ 4 6 を通過  
する。この光が、光増幅装置 1 の出射光である。光アイソレータ 4 6  
は、後置 WDM カプラ 3 6 の後段に置かれ、後置 WDM カプラ 3 6 か  
ら出射する方向に光を通すが、後置 WDM カプラ 3 6 に入射する方向  
20 には光を通さない。

光スイッチ (光接続手段) 5 0 は、端子 5 1、5 2、5 3、5 4 を  
有する。端子 5 1 は、第一後置光ファイバ増幅器 1 8 の出射側に接続  
されている。端子 5 2 は、後置 WDM カプラ 3 6 に接続されている。  
25 端子 5 3 は、第二後置光ファイバ増幅器 2 8 の出射側に接続されてい  
る。端子 5 4 は、第二前置光ファイバ増幅器 2 2 の入射側に接続され

ている。

光スイッチ 50 は、(1) 端子 51 と端子 52 とを接続する、あるいは(2) 端子 51 と端子 54 とを接続すると共に、端子 52 と端子 53 とを接続する。

(1) 端子 51 と端子 52 とを接続する場合、第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射側と、後置 WDM カプラ 36 とが接続される。

10 (2) 端子 51 と端子 54 とを接続すると共に、端子 52 と端子 53 とを接続する場合、第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射側と、第二前置光ファイバ増幅器 22 の入射側とが接続されると共に、後置 WDM カプラ 36 と第二後置光ファイバ増幅器 28 の出射側とが接続される。

15

次に、本発明の動作を説明する。

光増幅装置 1 は、 $1.55 \mu\text{m}$  帯 ( $1.53 \mu\text{m} \sim 1.56 \mu\text{m}$  : C バンド) の入射光を受けた場合は、端子 51 と端子 52 とを接続して、C バンドの出射光を出射する。 $1.58 \mu\text{m}$  帯 ( $1.57 \mu\text{m} \sim 1.61 \mu\text{m}$  : L バンド) の入射光を受けた場合は、端子 51 と端子 54 とを接続すると共に、端子 52 と端子 53 とを接続して、L バンドの出射光を出射する。

25 (1) 端子 51 と端子 52 とを接続する場合 (C バンドの入射光を増幅する)

## 12

Cバンドの入射光が光増幅装置1に入射される。入射光は、光アイソレータ42を通過して、第一前置光ファイバ増幅器12に入射される。

5 第一前置励起光源14は、第一励起光を生成し、第一励起光は第一WDMカプラ16により第一前置光ファイバ増幅器12に導入される。これにより、第一前置光ファイバ増幅器12は励起され、入射光を増幅できる。

10 第一前置光ファイバ増幅器12は、入射光を増幅して出射する。出射光は、第一WDMカプラ16を通過し、光アイソレータ（光遮断手段）44を通過する。この光は、第一後置光ファイバ増幅器18に入射される。

15 後置励起光源34は、第三励起光を生成し、第三励起光は後置WDMカプラ36により、端子52と端子51とを介して、第一後置光ファイバ増幅器18に導入される。これにより、第一後置光ファイバ増幅器18は励起され、第一前置光ファイバ増幅器12の出射光を増幅できる。

20 なお、第一前置光ファイバ増幅器12および第一後置光ファイバ増幅器18は、Cバンドの入射光を低ノイズ増幅するために最適化されたファイバ長を有している。さらに、第一前置光ファイバ増幅器12のゲイン（Cバンドの入射光を増幅している場合）は、第一後置光ファイバ増幅器18におけるノイズを無視できる程度に大きい。

25

第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射光は、端子 51 と端子 52 を経由して、後置 WDM カプラ 36 を通過し、さらに光アイソレータ 46 を通過する。この光が、光増幅装置 1 の出射光である。

5 C バンドの入射光を増幅する場合、第一前置光ファイバ増幅器 12 および第一後置光ファイバ増幅器 18 のファイバ長などを適宜決定することにより、ノイズを低減できる。

(2) 端子 51 と端子 54 とを接続すると共に、端子 52 と端子 5  
10 3 とを接続する場合 (L バンドの入射光を増幅する)

L バンドの入射光が光増幅装置 1 に入射される。入射光は、光アイソレータ 42 を通過して、第一前置光ファイバ増幅器 12 に入射される。

15 第一前置励起光源 14 は、第一励起光を生成し、第一励起光は第一 WDM カプラ 16 により第一前置光ファイバ増幅器 12 に導入される。これにより、第一前置光ファイバ増幅器 12 は励起され、入射光を増幅できる。

20 第一前置光ファイバ増幅器 12 は、入射光を増幅して出射する。出射光は、第一 WDM カプラ 16 を通過し、光アイソレータ（光遮断手段）44 を通過する。この光は、第一後置光ファイバ増幅器 18 に入射される。

25 第二前置励起光源 24 は、第二前置光ファイバ増幅器 22 に与える第二励起光を生成する。第二励起光は、第二 WDM カプラ 26 により、

第二前置光ファイバ増幅器 22 に導入される。第二励起光は、第二前置光ファイバ増幅器 22 の出射側から入射側へと透過していく、さらに端子 54 と端子 51 とを介して（この際、光スイッチ 50 の挿入損失を受ける）、第一後置光ファイバ増幅器 18 に導入される。これにより、第一後置光ファイバ増幅器 18 は励起され、第一前置光ファイバ増幅器 12 の出射光を増幅できる。さらに、第二前置光ファイバ増幅器 22 は励起され、第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射光を増幅できる。第一後置光ファイバ増幅器 18 および第二前置光ファイバ増幅器 22 は、単一の光源（第二前置励起光源 24）により制御できる。  
なお、第一前置光ファイバ増幅器 12 は、光アイソレータ 44 よりも前にあるので、第二前置励起光源 24 による影響を受けない。

第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射光は、端子 51 と端子 54 を経由して、第二前置光ファイバ増幅器 22 に入射する。第二前置光ファイバ増幅器 22 は、第一後置光ファイバ増幅器 18 の出射光を増幅する。第二前置光ファイバ増幅器 22 の出射光は、第二 WDM カップラ 26 を通過し、第二後置光ファイバ増幅器 28 に入射する。

後置励起光源 34 は、第二後置光ファイバ増幅器 28 に与える励起光を生成する。励起光は、後置 WDM カップラ 36 により、第二後置光ファイバ増幅器 28 に導入される。これにより、第二後置光ファイバ増幅器 28 は励起され、第二前置光ファイバ増幅器 22 の出射光を増幅できる。

第二後置光ファイバ増幅器 28 は、第二前置光ファイバ増幅器 22 の出射光を増幅する。第二後置光ファイバ増幅器 28 の出射光は、端

子 5 3 と 端子 5 2 と を 経由して、後置 WDM カプラ 3 6 を 通過し、さ  
らに光アイソレータ 4 6 を 通過する。この光が、光増幅装置 1 の出射  
光である。

5 なお、第一前置光ファイバ増幅器 1 2、第一後置光ファイバ増幅器  
1 8、第二前置光ファイバ増幅器 2 2 および第二後置光ファイバ増幅  
器 2 8 の ファイバ長の合計は、L バンドの光を増幅するために最適な  
長さである。しかも、第一前置光ファイバ増幅器 1 2、第一後置光  
ファイバ増幅器 1 8 および第二前置光ファイバ増幅器 2 2 の ファイバ長  
10 の合計は、第一前置光ファイバ増幅器 1 2 の ゲイン、第一後置光  
ファイバ増幅器 1 8 の ゲイン および 第二前置光ファイバ増幅器 2 2 の ゲイ  
ンを合成した合成ゲインが、第二後置光ファイバ増幅器 2 8 の 出射光  
のノイズをあまり増大させずに、ほぼ一定に保つことができるよう  
に  
15 されている。

C バンドの入射光を増幅する場合、第一前置光ファイバ増幅器 1 2  
および第一後置光ファイバ増幅器 1 8 の ファイバ長などを適宜決定す  
ることにより、C バンドの光におけるノイズを低減できる。しかし、  
この場合、第一前置光ファイバ増幅器 1 2 および第一後置光ファイバ  
増幅器 1 8 によるゲインはわずか数 dB 程度である。よって、第一後  
置光ファイバ増幅器 1 8 の 出射光をそのまま第二後置光ファイバ増幅  
器 2 8 に与えれば、第二後置光ファイバ増幅器 2 8 によるノイズが大  
きく影響し、L バンドの増幅光のノイズは大きくなる。そこで、第二  
前置光ファイバ増幅器 2 2 を設けることにより、第二後置光ファイバ  
増幅器 2 8 の 前段におけるゲインを大きくする。これにより、第二後  
置光ファイバ増幅器 2 8 によるノイズの影響を減少させ、L バンドの

增幅光のノイズを小さくできる。

本発明の実施形態によれば、第一前置光ファイバ増幅器 12 および第一後置光ファイバ増幅器 18 のファイバ長などを適宜決定することにより、C バンドの入射光を増幅した光におけるノイズを低くすることができる。しかも、第二前置光ファイバ増幅器 22 を設けることにより、第二後置光ファイバ増幅器 28 の前段におけるゲインを大きくしたため、L バンドの入射光を増幅した光におけるノイズをも低くすることができる。

10

また、図 5 に、図 1 に示す光増幅装置 1 の構成要素を一部省略した例を示す。図 5 に示すように、第一前置光ファイバ増幅器 12、第一前置励起光源 14、第一 WDM カプラ（第一前置励起光導入手段）16、第二前置光ファイバ増幅器 22、第二前置励起光源 24、第二 WDM カプラ（第二前置励起光導入手段）26 および光アイソレータ 42 は省略可能である。第一後置光ファイバ増幅器 18 が第一光ファイバ増幅器に、第二後置光ファイバ増幅器 28 が第二光ファイバ増幅器に相当する。図 5 に示すような構成によれば、第一後置光ファイバ増幅器 18 および第二後置光ファイバ増幅器 28 は、後置励起光源 34 により後方励起される（出射側から励起光を受ける）ため、第一 WDM カプラ 16 を省略した分、ノイズを低減できる。

なお、変形例として、第二後置光ファイバ増幅器 28 および第二前置光ファイバ増幅器 22 の間に、第三前置光ファイバ増幅器 62、第三前置励起光源 64 および第三 WDM カプラ（第三前置励起光導入手段）66 を設けてよい。

図2は、本発明の実施形態にかかる光増幅装置1の変形例の構成を示す図である。第三前置光ファイバ増幅器62、第三前置励起光源64および第三WDMカプラ（第三前置励起光導入手段）66以外は図5 1を参照して説明したとおりであり説明を省略する。

第三前置光ファイバ増幅器62は、第二前置光ファイバ増幅器22の出射光を増幅して第二後置光ファイバ増幅器28に出射する。

10 第三前置励起光源64は、第三前置光ファイバ増幅器62に与える第四励起光を生成する。

第三WDMカプラ（第三前置励起光導入手段）66は、第三前置励起光源64から第四励起光を受けて、第三前置光ファイバ増幅器62に与える。第三WDMカプラ66は、第三前置光ファイバ増幅器62の出射側（入射光を受ける側とは反対側）に接続されている。なお、第三前置光ファイバ増幅器62の出射光は、第三WDMカプラ66を通過する。

## 20 実施例1

図1を参照して説明した光増幅装置1において、第一前置励起光源14、第二前置励起光源24および後置励起光源34の生成する光の波長が980nmであり、第一前置励起光源14の励起強度が70mW、第二前置励起光源24の励起強度が100mW、後置励起光源34の励起強度が100mWであり、光増幅装置1に入射する入射光（信号光）の波長が1610nmであり、入射光（信号光）の強度が-35dBmで

あるとする。そのときの、波長とゲインとの関係、および波長とノイズ指数との関係を図3に示す（実施例）。

なお、比較例として、第二前置光ファイバ增幅器22が無いものの  
5 例を図4に示す。図4に示す比較例は、図1を参照して説明した光増幅装置1から、第二前置光ファイバ增幅器22、第二前置励起光源24および第二WDMカプラ26を取り除いたものである。ただし、後置励起光源34、後置WDMカプラ36および光アイソレータ46は、  
第一後置光ファイバ增幅器18と端子51との間に移動させている。  
10 また、後置励起光源34、後置WDMカプラ36および光アイソレータ46と同じものである後置励起光源34'、後置WDMカプラ36'、  
および光アイソレータ46'を、第二後置光ファイバ增幅器28と端子53との間に設ける。第一前置励起光源14、第二前置励起光源24および後置励起光源34の生成する光の波長、励起強度、光増幅装置1に入射する入射光（信号光）の波長、強度は上記の実施例の数値  
15 と同じである。比較例の、波長とゲインとの関係、および波長とノイズ指数との関係も図3に示す（比較例）。

図3から、実施例の方が、比較例よりも、ゲインおよびノイズ指数  
20 が小さいことがわかる。よって、実施例の方が、比較例よりも、良い特性を示すことがわかる。

## 請求の範囲

1. 入射光を増幅する第一前置光ファイバ増幅器と、  
前記第一前置光ファイバ増幅器に与える第一励起光を生成する第一  
前置励起光源と、  
前記第一励起光を前記第一前置光ファイバ増幅器に導入する第一前  
置励起光導入手段と、  
前記第一前置光ファイバ増幅器の出射光を増幅する第一後置光ファ  
イバ増幅器と、
- 10 第二前置光ファイバ増幅器と、  
前記第二前置光ファイバ増幅器に与える第二励起光を生成する第二  
前置励起光源と、  
前記第二励起光を、前記第二前置光ファイバ増幅器に、入射側とは  
反対側である出射側から導入する第二前置励起光導入手段と、  
前記第二前置光ファイバ増幅器の出射光を増幅する第二後置光ファ  
イバ増幅器と、  
前記第一後置光ファイバ増幅器に与える第三励起光を生成する後置  
励起光源と、  
前記第三励起光を前記第一後置光ファイバ増幅器に導入する後置励  
起光導入手段と、  
(1) 前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記後置励起光導  
入手段とを接続する、あるいは(2)前記第一後置光ファイバ増幅器  
の出射側と前記第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続して、前  
記第一後置光ファイバ増幅器の出射光を前記第二前置光ファイバ増幅  
器によって増幅させる、光接続手段と、  
25 を備えた光増幅装置。

2. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記第一後置光ファイバ増幅器から前記第一前置光ファイバ増幅器への光を遮断する光遮断手段、

5 を備えた光増幅装置。

3. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記光接続手段は、前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続すると共に、前記第二後置光ファイバ増幅器の出射側と前記後置励起光導入手段とを接続する、  
10 光増幅装置。

4. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記光接続手段が前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記後置励起光導入手段とを接続する場合に、前記第一前置光ファイバ増幅器のゲインが、前記第一後置光ファイバ増幅器におけるノイズを無視できる程度に大きい、  
15 光増幅装置。

20 5. 請求項 4 に記載の光増幅装置であって、

前記光接続手段が前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記第二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続する場合に、前記第一前置光ファイバ増幅器のゲイン、前記第一後置光ファイバ増幅器のゲインおよび前記第二前置光ファイバ増幅器のゲインを合成した合成ゲインは、前記第二後置光ファイバ増幅器の出射光のノイズをほぼ保つことができる程度のものである、  
25

光増幅装置。

6. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記光接続手段が前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記後  
5 置励起光導入手段とを接続する場合に、前記第一後置光ファイバ増幅  
器の出射光の波長帯域が C バンドである、

光増幅装置。

7. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

10 前記光接続手段が前記第一後置光ファイバ増幅器の出射側と前記第  
二前置光ファイバ増幅器の入射側とを接続する場合に、前記第二後置  
光ファイバ増幅器の出射光の波長帯域が L バンドである、

光増幅装置。

15 8. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記第一前置光ファイバ増幅器、前記第一後置光ファイバ増幅器、  
前記第二前置光ファイバ増幅器および前記第二後置光ファイバ増幅器  
のいずれか一つ以上が、エルビウム添加光ファイバである、

光増幅装置。

20

9. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記第一前置励起光源、前記第二前置励起光源および前記後置励起  
光源の生成する光の波長が 980nm である、

光増幅装置。

25

10. 請求項 1 に記載の光増幅装置であって、

前記第二前置光ファイバ増幅器の出射光を增幅して前記第二後置光  
ファイバ増幅器に出射する第三前置光ファイバ増幅器と、

前記第三前置光ファイバ増幅器に与える第四励起光を生成する第三  
前置励起光源と、

- 5 前記第四励起光を、前記第三前置光ファイバ増幅器に、入射側とは  
反対側である出射側から導入する第三前置励起光導入手段と、  
を備えた光増幅装置。

11. 入射光を増幅する第一光ファイバ増幅器と、

- 10 第二光ファイバ増幅器と、

前記第一光ファイバ増幅器に与える励起光を生成する後置励起光源  
と、

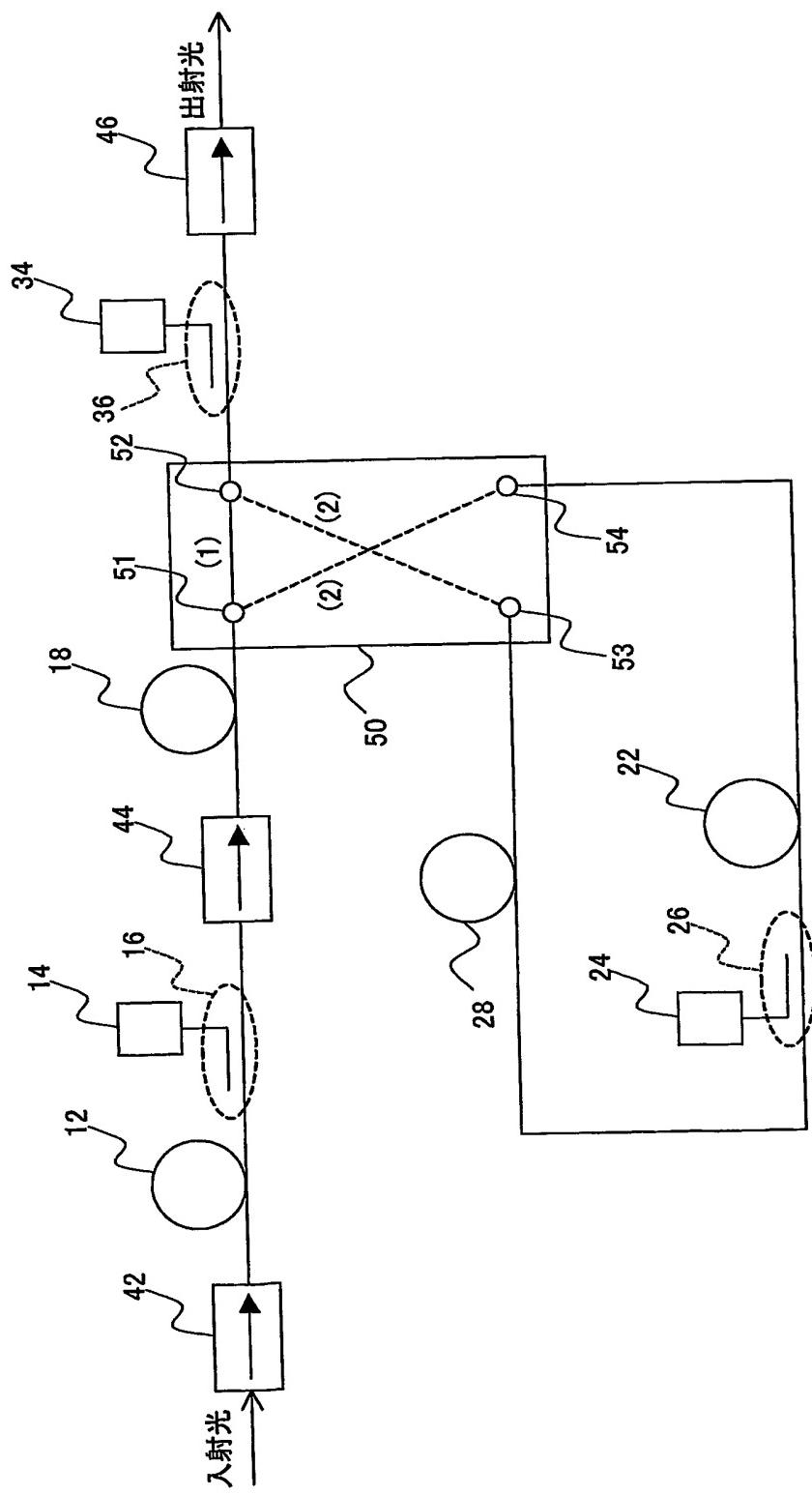
前記励起光を前記第一光ファイバ増幅器に導入する後置励起光導入  
手段と、

- 15 (1) 前記第一光ファイバ増幅器の出射側と前記後置励起光導入手  
段とを接続する、あるいは (2) 前記第一光ファイバ増幅器の出射側  
と前記第二光ファイバ増幅器の入射側とを接続して、前記第一光ファ  
イバ増幅器の出射光を前記第二光ファイバ増幅器によって増幅させる、  
光接続手段と、

- 20 を備えた光増幅装置。

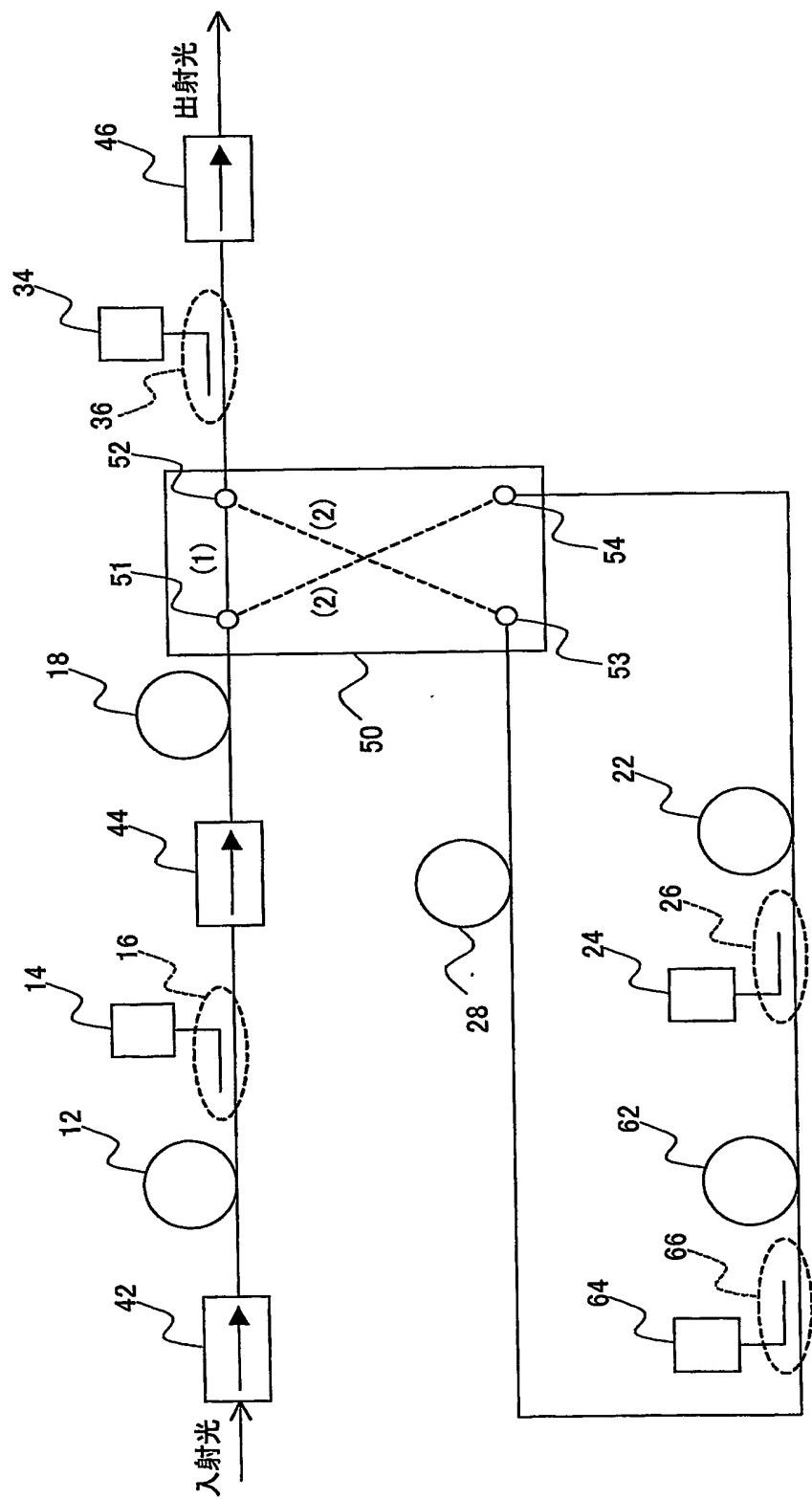
1/5

第1図



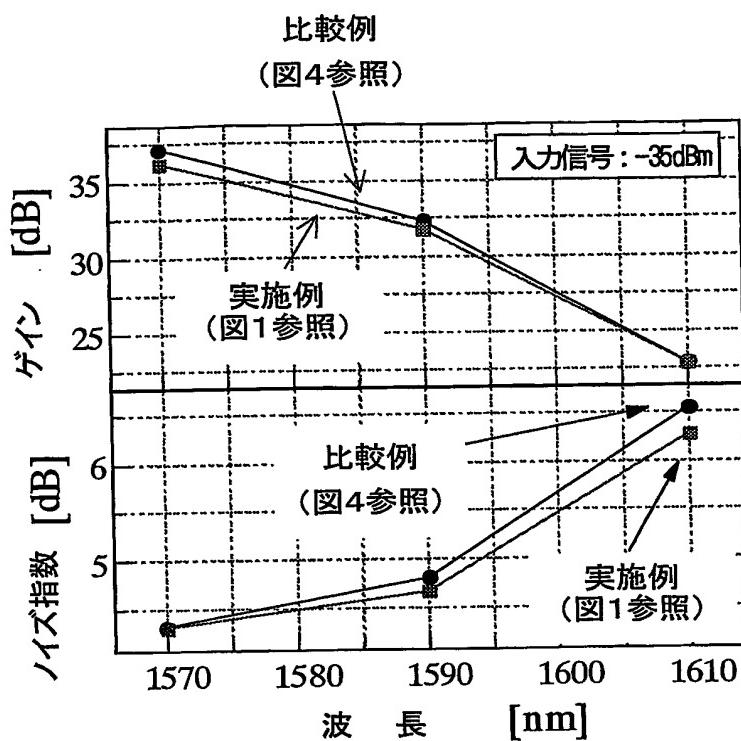
2/5

第2図

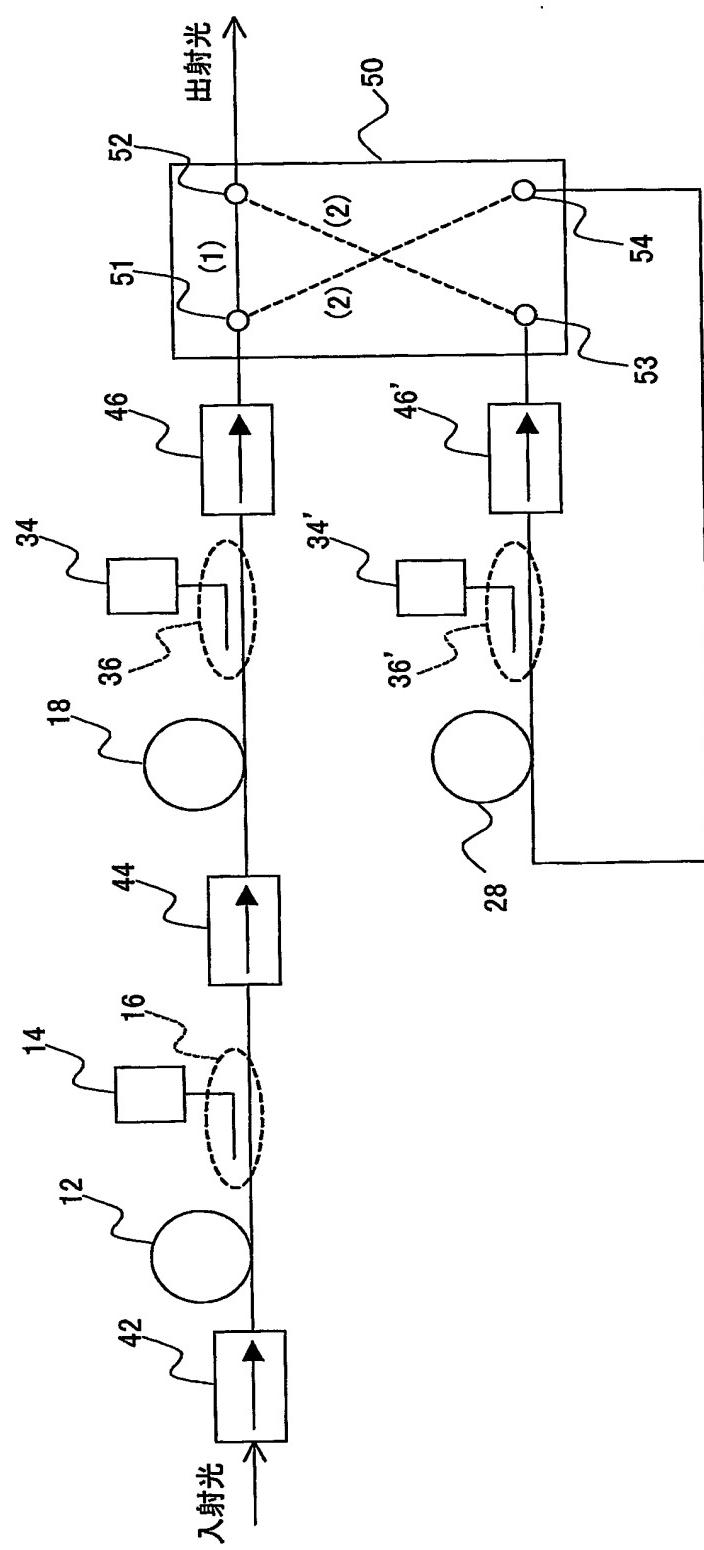


3/5

## 第3図



## 第4図



5/5

第5図

